

補助事業番号 2020M-156

補助事業名 2020年度 水素混焼ガスタービン燃焼器で発生する燃焼振動現象解明を目指したレイケ管を用いたモデル実験 補助事業

補助事業者名 早稲田大学理工学術院 創造理工学部 総合機械工学科 上道研究室 上道茜

1 研究の概要

燃焼振動は熱音響現象のひとつであり、この調査にあたってはレイケ管がよく用いられている。レイケ管は、管内に電熱ヒーター等で高温部を設けた、極めて単純な構造の装置であるが、基本的な熱音響特性を知るためのモデル実験を実施するには都合のよい。特に、実際に燃料を燃焼させた場合には、管内の温度分布を任意に変化させることは難しいため、本補助事業では電熱ヒーターを用いたレイケ管で燃焼器を模擬して実験を行う。

ここで、温度分布を表すパラメータは①電熱ヒーター位置(火炎面位置に相当)②流入流速および電熱ヒーターの設置幅(火炎帯幅に相当)③電熱ヒーターの出力(最高火炎温度に相当)の3つとしてこれらを種々に変化させて実験を行う。振動特性の評価にあたっては、2音源法を用いる。

2 研究の目的と背景

地球温暖化の原因となる二酸化炭素の排出量削減を目的に、火力発電所のガスタービン燃焼器に対して、既存の化石燃料に替わって一定の割合で水素を混合させて燃焼させる「水素混焼」が検討されている。しかしながら、水素を混焼させることで燃焼特性は大きく変化する。

特に、ガスタービン燃焼器に多大な損傷をもたらす可能性がある燃焼振動の特性については、十分な調査が必要である。現状では、燃焼振動の対策は振動の減衰を図るものが多いが、多様な燃料に対応するにあたって、対策すべき振動特性の予測は不可欠である。

これまでに申請者は、都市ガスおよび水素の混合燃料を用いて燃焼振動実験を行い、水素混焼の場合に都市ガスのみを燃料とした場合とは異なる発振周波数が得られたことから、発振周波数に注目して研究を行ってきた。このとき、燃焼器内における燃焼は極めて複雑な現象であるが、申請者は管内温度分布こそが最も支配的な要因であると考え、本補助事業では、燃焼器を模擬したレイケ管に様々な温度分布を与えてモデル実験を行い、水素混焼が燃焼振動に与える影響を整理することを目的とする。

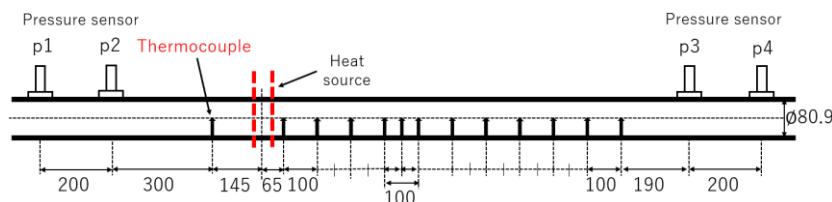
3 研究内容

(1)種々の温度分布を再現できるレイケ管の製作と実験

https://www.uemichi.mmech.waseda.ac.jp/wordpress/wp-content/uploads/2021/06/2020FY_JK_AReport.pdf

燃焼器をレイケ管で代用し、火炎面の代わりに熱源としてヒーターで代用した。レイケ管にはブロワ、層流流量計、タンクが接続され、任意の流量で空気を供給することができる。また、管内軸方向の温度分布を測定するために、図2のように管内に13点熱電

対を挿入したレイケ管を用いた。熱電対は、管軸中心上での温度を測定できるように固定している。熱源の位置を上流側のスピーカーからの距離とし、熱源位置、管入口での空気流入流速、および熱源の発熱量を変化させ、管内軸方向の温度分布を変化させ測定した。

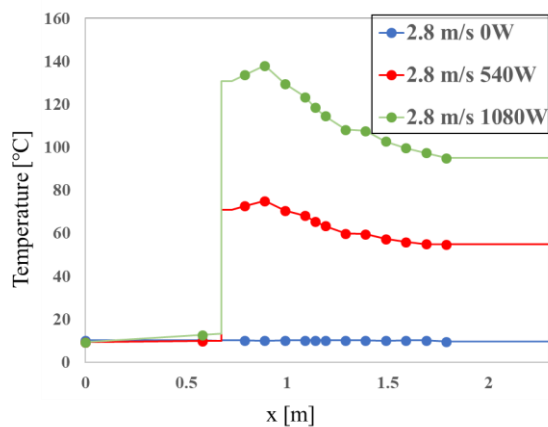
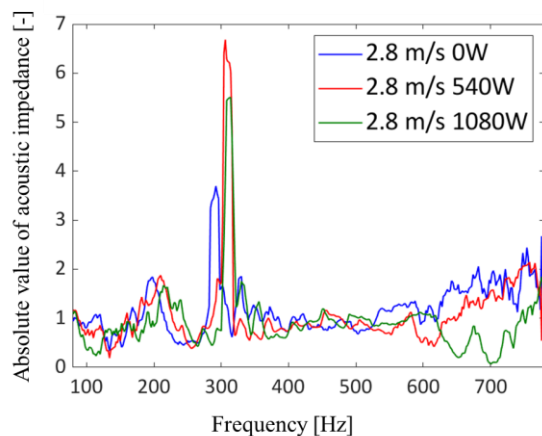


熱電対（13箇所）を挿入できるレイケ管の概略



熱電対（13箇所）を挿入できるレイケ管の写真

実験の結果、発熱量を変化させることで音響インピーダンスの絶対値のピークが高周波側に移動することがわかった。



ヒーターの発熱量を変化させたときの音響インピーダンスの絶対値(左図)
およびレイケ管内部の軸方向温度分布(右図)

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

水素混焼ガスタービン燃焼器の開発にあたって、実用的な燃焼振動予測モデルが求められている。これは、モデルの計算にかかる処理時間が十分に短く、またモデルが精度よく燃焼振動の発生有無を予測することである。本研究では、一次元の音響ネットワークモデルをベースにモデルを構築しており、処理時間は十分に短い。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

これまでに旋回流を伴う超希薄予混合燃焼のメカニズム解明の基礎研究を経て、ガスタービン燃焼器を対象として水素を大量に含む燃料の燃焼振動の研究を行ってきた。これまでの研究では、音響的境界条件に音響インピーダンスを適用して燃焼振動現象のモデル構築に取り組んできた。今回の研究では、燃焼器内の温度分布は既燃と未燃の2領域に分割したもので十分であることを明らかにし、さらに、燃焼器よりも上流側の配管を考慮することで共鳴周波数の候補を算出できることが判明した。これは、より簡便な温度分布モデルでよいが、ガスタービン燃焼器の全体を考える必要があることを示す。よって、工業的な燃焼振動予測モデルの構築にあたって、重要な知見を含んだものであると考える。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- 上道茜、呂逸凡、草鹿仁、金子成彦、「水素混合燃料焚きガスタービン燃焼器で発生する燃焼振動の共鳴周波数の検討」、日本機械学会2021年度年次大会、2021年9月（採択、発表予定）
- Akane Uemichi, Yiufan Lyu, Jin Kusaka, Shigehiko Kaneko, “Examination of resonant frequencies generated by combustion oscillation in a combustor fueled by hydrogen–natural gas mixture and the upstream pipe,” Proceedings of the ASME 2021 International Engineering Congress and Exposition IMECE 2021, 2021 Nov., (accepted)

上記2件の学会発表に加えて、投稿論文2編を準備している。

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 早稲田大学理工学術院(ワセダダイガクニコウガクジュツイン)

住 所： 〒169-8555

東京都新宿区大久保3-4-1

担 当 者： 准教授 上道茜(ウエミチアカネ)

担 当 部 署： 早稲田大学理工学術院創造理工学部総合機械工学科

(ワセダダイガクソウゾウニコウガクブソウゴウキカイコウガクカ)

E - m a i l: uemichi@waseda.jp

U R L: <https://www.uemichi.mmech.waseda.ac.jp/>